

REPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :
(A n'utiliser que pour
le classement et les
commandes de reproduction).

2.184.536

(21) N° d'enregistrement national.

72.18206

(A utiliser pour les paiements d'annuités,
les demandes de copies officielles et toutes
autres correspondances avec l'I.N.P.I.)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

1^{re} PUBLICATION

- (22) Date de dépôt 19 mai 1972, à 16 h 28 mn.
(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. - «Listes» n. 52 du 23-12-1973.
- (51) Classification Internationale (Int. Cl.) F 28 d 9/00//F 25 b 23/00; F 28 f 21/00.
- (71) Déposant : AGENCE NATIONALE DE VALORISATION DE LA RECHERCHE (ANVAR),
résidant en France.
- (73) Titulaire : *Idem* (71)
- (74) Mandataire : Brevatome.
- (54) Echangeur thermique à très basse température.
- (72) Invention de : Luis Del Castillo, Giorgio Frossati, Albert Lacaze et Daniel Thoulouse.
- (33) (32) (31) Priorité conventionnelle :

La présente invention a pour objet un échangeur thermique à contre-courant pour fluide à très basse température.

De façon plus précise, la présente invention a pour objet un échangeur thermique tel que ceux qui sont inclus dans des circuits de réfrigérateur à dilution. En effet, dans ce cas les deux fluides traversant l'échangeur sont à très basse température. Cette température est en général inférieure à 1° kelvin. Mais il va de soi qu'un tel échangeur à très basse température peut avoir bien d'autres utilisations que des réfrigérateurs à dilution.

Ces réfrigérateurs à dilution utilisent en général comme fluide de l'hélium 3 dilué dans de l'hélium 4. Dans l'échangeur associé à un tel réfrigérateur, le fluide "chaud" est l'hélium concentré, c'est à dire fortement enrichi en hélium 3 alors que le fluide froid est l'hélium à faible concentration en hélium 3.

Les températures intervenant dans un tel échangeur imposent bien entendu des précautions particulières quant à la réalisation d'un tel échangeur.

Il faut que la résistance thermique des parois séparant les deux fluides soit très faible. Il faut de plus que la résistance "de contact" ou plus précisément la résistance de Kapitza entre le matériau constituant les parois de séparation des deux fluides et les fluides eux-mêmes soit aussi faible que possible. Il faut en outre que la conduction thermique des parois selon la longueur de l'échangeur soit aussi mauvaise que possible. Dans le cas particulier où l'on utilise de l'hélium, il faut de plus que le matériau servant à réaliser les parois de l'échangeur soit très étanche.

On connaît deux types d'échangeurs thermiques pour réfrigérateur à dilution ou plus généralement pour très basse température.

Premier type :

Des échangeurs à contre-courant et discontinus. Ces échangeurs (par exemple celui construit par Wheatley) consistent

en une succession de blocs contenant chacun deux cavités dans lesquelles on place un matériau fritté, chacune des cavités étant traversée par un des deux fluides, chaque bloc étant à une température uniforme. Dans un tel échangeur on utilise le plus souvent du cuivre aussi bien pour les parois que pour le matériau fritté remplissant les cavités.

Deuxième type :

Des échangeurs continus comportant un seul bloc d'échange thermique (par exemple celui qui a été construit par Enholm). Un échangeur continu connu est constitué par deux tubes coaxiaux, le fluide chaud circulant par exemple dans le tube central alors que le fluide froid circule entre les deux tubes. En général, les tubes sont réalisés en cupronickel. La température de l'échangeur, et bien sûr celle du fluide varient continûment entre l'entrée et la sortie.

Dans le cas des échangeurs continus, il faut éviter un court-circuit thermique entre l'entrée et la sortie. Cela nécessite donc une forte résistance thermique du fluide et de l'échangeur lui-même.

En pratique, c'est le fluide qui risque le plus de créer ce court-circuit. Sa conductivité thermique étant donnée, on ne peut jouer que sur le facteur géométrique. Pour cela on allonge la colonne de liquide et on diminue sa section. On est cependant limité par le fait qu'une impédance thermique trop élevée produirait des réchauffements visqueux.

La présente invention a précisément pour objet un échangeur thermique continu à basse température permettant d'obtenir une température de sortie du fluide chaud au moins aussi basse qu'avec les échangeurs cités ci-dessus présentant une grande surface d'échange et une impédance réglable.

L'échangeur thermique continu se caractérise en ce qu'il est constitué par un empilement étanche et alterné de $n + 1$ feuilles minces à travers lesquelles se réalise l'échange de chaleur entre deux fluides en circulation à très basses températures, ces feuilles étant séparées par n plaques d'entretoisement ou écarteurs comportant chacun une ouverture

constituant une rainure continue, l'une des extrémités de la rainure de chaque écarteur de rang pair étant réunie à une canalisation d'introduction de l'un des fluides, et l'autre extrémité à une canalisation d'évacuation de ce fluide, les rainures des écarteurs de rang impair étant réunies de la même façon à des canalisations d'introduction et d'évacuation de l'autre fluide, ces canalisations étant placées de façon telle que le fluide circule dans les rainures des écarteurs de rang pair en sens inverse de l'autre fluide dans les écarteurs de rang impair, lesdites feuilles minces étant constituées d'un matériau non poreux présentant une mauvaise conduction thermique de masse et une très faible résistance de Kapitza vis-à-vis des fluides circulant dans les rainures des écarteurs.

En d'autres termes, on réalise un échangeur dont le circuit primaire est constitué par $n/2$ ou $\frac{n-1}{2}$ circuits montés en parallèle et dont le circuit secondaire est constitué également par $n/2$ ou $\frac{n-1}{2}$ circuits montés en parallèle. En outre, les canalisations d'arrivée et d'évacuation de chacun des circuits sont placées de telle façon qu'on ait une circulation à contre-courant des deux fluides dans les circuits primaire et secondaire adjacents.

De toute façon l'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit d'un mode de réalisation de l'invention donné à titre d'exemple non limitatif. La description se réfère aux figures annexées sur lesquelles on a représenté:

- sur la figure 1, une vue éclatée de l'échangeur thermique,
- sur la figure 2, des courbes illustrant la température minimale T_m obtenue dans la boîte à mélange associée à l'échangeur en fonction du débit d'hélium 3,
- sur la figure 3, la température minimale T_m en fonction du rapport de la surface d'échange entre les deux fluides au débit d'hélium 3.

Sur la figure 1, on a représenté une vue éclatée d'un échangeur thermique conforme à l'invention. L'échangeur est constitué par un empilement alterné de feuilles minces étanches $2_a, 2_b, 2_c, 2_d, 2_e$, et de plaques d'entretoisement $4_a, 4_b, 4_c, 4_d$, qu'on appellera ultérieurement "écarteurs". Chaque écarteur 4 est constitué par une plaque sensiblement rectangulaire dans laquelle est ménagée une rainure continue 6, cette rainure traversant de part en part l'épaisseur de l'écarteur 4. La rainure continue 6 est constituée par des fentes parallèles telle que 8_a . Ces fentes sont alternativement réunies à la suivante par une de leurs extrémités. Ainsi la fente 8_b est réunie à la fente 8_a par une de ses extrémités, et à la fente 8_c par son autre extrémité.

Les rainures 6 de chacun des écarteurs $4_a, 4_b$ etc. sont identiques à ceci près : si la fente 8_b de l'écarteur 4_a est réunie par une de ses extrémités à la fente 8_a , la fente $8'_b$ correspondante de l'écarteur 4_b sera réunie à la fente $8'_a$ de l'écarteur 4_b par l'extrémité opposée à celle par laquelle la fente 8_b est réunie à la fente 8_a .

En outre, chaque feuille 2 et chaque écarteur 4 (à l'exception bien entendu de la feuille 2_e) est muni à chacun de ses quatre sommets d'orifices coïncidants. Ces orifices constituent ainsi quatre canalisations perpendiculaires au plan des écarteurs (10, 12, 14, 16). Les rainures 6 des écarteurs 4_a et 4_c sont réunies à chacune de leurs extrémités respectivement aux canalisations 10 et 14, c'est à dire que la fente 8_a est réunie à l'orifice 10_a , que la fente $8'_a$ est réunie à l'orifice 10_c , et que l'orifice 14_a et l'orifice 14_c sont réunis respectivement aux fentes 8_n et $8'_n$.

A l'opposé, les fentes 6 des écarteurs 4_b et 4_d sont réunies à chacune de leurs extrémités respectivement aux canalisations 12 et 16. On réalise ainsi un circuit pour un premier fluide constitué par les canalisations 10 et 14 et les rainures des écarteurs 4_a et 4_c et un deuxième circuit constitué par les canalisations 12 et 16 et les rainures 6 des écarteurs 4_b et 4_d . En outre, chacun de ces circuits est constitué par

deux circuits élémentaires placés en parallèle, chacun de ces circuits étant constitué par un écarteur, 4_a et 4_c par exemple pour le premier circuit. De plus, le premier fluide est par exemple injecté par la canalisation 10 et ressort par la canalisation 14, alors que le second fluide est injecté par la canalisation 16 et ressort par la canalisation 12 de telle façon que les deux fluides circulent à contre-courant. En effet, dans la fente 8_a de l'écarteur 4_a et dans la fente $8'_a$ de l'écarteur 4_b , les deux fluides circulent dans des conduites parallèles mais en sens opposé.

Il va de soi que l'échangeur peut comporter plus ou moins de quatre écarteurs. Plus généralement un échangeur conforme à l'invention comporte n écarteurs et $n + 1$ feuilles minces. Le circuit primaire comprend ainsi $\frac{n}{2}$ ou $\frac{n+1}{2}$ circuits élémentaires en parallèle et le circuit secondaire $\frac{n}{2}$ ou $\frac{n-1}{2}$ circuits élémentaires en parallèle selon que n est pair ou impair.

Sur la figure 1, on a représenté une vue éclatée de l'échangeur, mais il va de soi qu'en réalité les feuilles 2 et les écarteurs 4 sont collés les uns aux autres de façon étanche. Chaque circuit d'échangeur est ainsi constitué par l'espace limité par les fentes 8 et par les deux feuilles 2 adjacentes à l'écarteur considéré.

Dans l'exemple particulier décrit ci-dessus, les plaques minces 2 et les écarteurs 4 sont réalisés dans un matériau appelé "Kapton" fabriqué par la Société Dupont de Nemours et qui est un polyimide thermostable. Cette matière présente la particularité d'être rigoureusement étanche même à l'hélium à très basse température et de présenter une résistance thermique de contact ou résistance de Kapitza très faible vis-à-vis de l'hélium. Il va de soi qu'on pourrait utiliser un autre produit, en particulier ces plaques 2 pourraient être réalisées en "Iylar" qui est un produit de condensation de l'éthylène-glycol et du terephthalate de méthyl.

On peut également réaliser les feuilles minces en métal. Il faut bien sûr qu'elles aient une épaisseur très faible. On peut utiliser du cuivre (dans ce cas l'épaisseur

doit être inférieure à quelques microns) du cupro-nickel, de l'acier inoxydable ou des métaux à l'état supra conducteur.

Il faut toutefois noter que pour les métaux la résistance de Kapitza avec l'hélium est plus importante.

- 5 Dans le cas où les écarteurs et les feuilles minces sont réalisés en Kapton, le collage des feuilles et des écarteurs est réalisé grâce à une colle polymérisable à chaud à une température voisine de 100°C.

- Dans l'exemple particulier de réalisation, les feuilles
10 minces 2 en Kapton ont une épaisseur de 7 μ . Les écarteurs pour le circuit primaire ont une épaisseur de 150 μ et une épaisseur de 300 μ pour le circuit secondaire. Le choix de l'épaisseur des écarteurs et du nombre de circuits mis en parallèle permet de régler l'impédance thermique. D'une façon
15 générale lorsque l'échangeur est intégré dans un réfrigérateur à dilution, la section droite des canalisations pour le liquide concentre en ^3He est sensiblement égale à la moitié de la section droite des canalisations pour le liquide contenant une faible proportion d'hélium 3.

- 20 Grâce à la très faible épaisseur des feuilles 2, la résistance thermique entre le circuit primaire et le circuit secondaire est très faible, bien que la conductibilité thermique du "Kapton" soit importante.

- En outre, et quelque soit le matériau utilisé, la
25 faible épaisseur des feuilles minces 2, permet un accroissement de l'échange thermique par effet tunnel de photons.

- Sur la figure 2 on a représenté des courbes permettant de comparer les résultats obtenus grâce à l'échangeur objet de l'invention et ceux obtenus à l'aide de l'échangeur
30 de Wheatley tel qu'il est décrit au début de la présente demande de brevet. On représente en ordonnée la température obtenue dans la boîte à mélange du réfrigérateur et en abscisse le débit en micro-mole/seconde d'hélium 3. On considère à chaque fois, d'une part, la température T_M réelle obtenue
35 dans la boîte à mélange et, d'autre part, la température T_S de

72 18206

2184536

sortie de l'échangeur divisée par trois. En effet, cette dernière rend mieux compte des performances de l'échangeur puisqu'elle ne dépend pas comme T_M d'un apport éventuel extérieur de chaleur à la boîte à mélange. Sur cette figure, les résultats obtenus

5 concernent:

- courbe A, température T_M pour un échangeur continu tubulaire,

- courbe B, température $\frac{T_S}{3}$ pour un même échangeur,

10 - courbe C, concerne la température T_M pour l'association d'un échangeur tubulaire classique et d'un échangeur continu en Kapton objet de l'invention,

- courbe D, donnant la température $\frac{T_S}{3}$ pour le même type d'échangeur,

15 - courbe E, représente la température T_M pour un échangeur continu tubulaire de Wheatley, et

- courbe F, la même température pour l'association d'un échangeur continu et d'un échangeur de Wheatley discontinu en métal fritté.

20 On constate que le meilleur rendement est obtenu pour l'association d'un échangeur tubulaire de type classique et d'un échangeur continu en kapton conforme à l'invention. En outre, la surface d'échange mise en jeu est nettement inférieure à celle qui intervient dans les échangeurs classiques. En effet, l'échangeur selon l'invention a une surface d'échange

25 de 35cm^2 alors que l'échangeur de Wheatley présentait une surface d'échange de 1040cm^2 du côté dilué et de 180cm^2 du côté concentré.

30 Sur la figure 3, on a représenté les courbes donnant la température en fonction du rapport de la surface d'échangeur $\frac{S}{3}$ au débit d'hélium \dot{V}_3 , la surface étant exprimée en cm^2 et le débit en micro-mole/seconde. Sur cette figure, la courbe G représente les résultats obtenus avec un échangeur tubulaire au cuivre. La courbe H représente les résultats obtenus avec un échangeur de Wheatley au cupronickel. La courbe I représente

35 la température T_M obtenue avec un échangeur conforme à l'invention, alors que la courbe J représente les températures $\frac{T_S}{3}$ obtenues avec le même échangeur.

REVENDEICATIONS

1°) Echangeur thermique continu, caractérisé en ce qu'il est constitué par un empilement étanche et alterné de $n + 1$ feuilles minces à travers lesquelles se réalise l'échange de chaleur entre deux fluides en circulation à très basses températures, ces feuilles étant séparées par n plaques d'entretoisement ou écarteurs comportant chacun une ouverture constituant une rainure continue, l'une des extrémités de la rainure de chaque écarteur de rang pair étant réunie à une canalisation d'introduction de l'un des fluides, et l'autre extrémité à une canalisation d'évacuation de ce fluide, les rainures des écarteurs de rang impair étant réunies de la même façon à des canalisations d'introduction et d'évacuation de l'autre fluide, ces canalisations étant placées de façon telle que le fluide circule dans les rainures des écarteurs de rang pair en sens inverse de l'autre fluide dans les écarteurs de rang impair, lesdites feuilles minces étant constituées d'un matériau non poreux présentant une mauvaise conduction thermique de masse et une très faible résistance de Kapitza vis-à-vis des fluides circulant dans les rainures des écarteurs.

2°) Echangeur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les feuilles minces ont une épaisseur de quelques microns.

3°) Echangeur thermique selon la revendication 1, caractérisé en ce que les feuilles minces sont réalisées en polyimide thermostable.

4°) Echangeur thermique selon la revendication 1, caractérisé en ce que les feuilles minces sont un produit de condensation de l'éthylène glycol et du téréphtalate de méthyl.

5°) Echangeur thermique selon la revendication 1, caractérisé en ce que les feuilles minces sont en cuivre.

6°) Echangeur thermique selon la revendication 1, caractérisé en ce que les feuilles minces sont en un métal faiblement conducteur de la chaleur choisi dans le groupe comprenant : l'acier inoxydable, le cupro-nickel, les métaux à l'état supra conducteur.

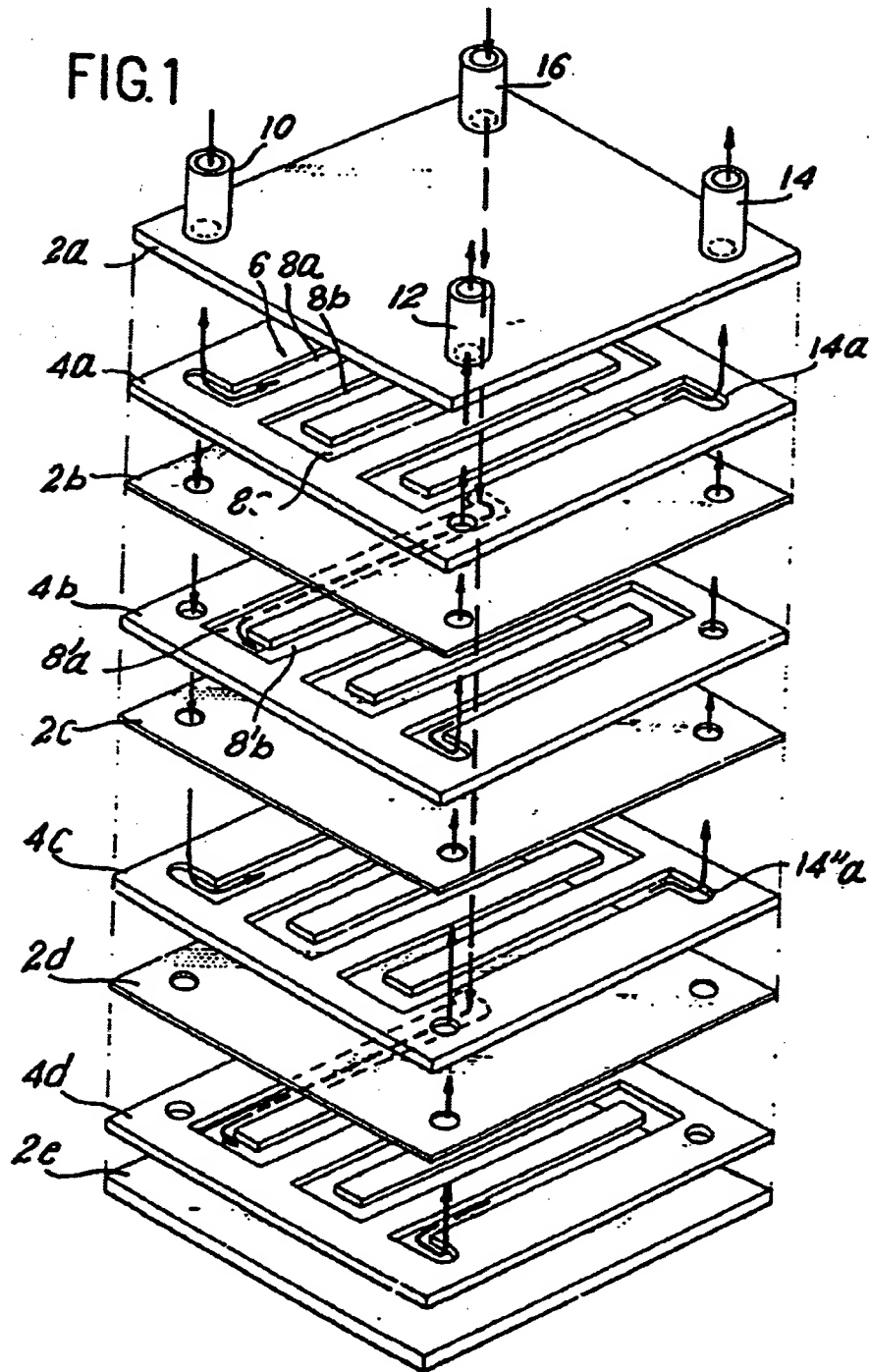
72 18206

9

2184536

7°) Echangeur thermique selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel l'un des fluides est une solution d'hélium 4 à forte concentration d'hélium 3, caracté-
risé en ce que le circuit du liquide à faible concentration
5 en hélium 3 a une section sensiblement égale au double de celle du circuit du liquide à forte concentration en hélium 3.

FIG. 1



72 18206

PI: II-2

2184536

